

LPG 在电喷发动机上的研究^{*}

姚勇 邸敏艳 徐岩

(河北师范大学职业技术学院机械系)

姚勇等.LPG 在电喷发动机上的研究.天然气工业,2005;25(3):160~162

摘要 随着我国汽车保有量的不断增长,汽车尾气排放污染已成为城市的重要污染源,而使用 LPG(主要成分是 C_3H_8 和 C_4H_{10} ,我国的 LPG 中 C_4H_{10} 含量比较大)则可大大降低污染。对电喷发动机上分别使用汽油、纯 C_3H_8 和 75% C_3H_8 + 25% C_4H_{10} 三种燃料进行了对比试验。结果表明:与汽油燃料发动机相比,尽管 C_3H_8 燃料发动机的功率下降 11%、转矩下降 7.3%,75% C_3H_8 燃料发动机的功率下降 5.8%、转矩下降 3.7%;但以 C_3H_8 为燃料的发动机,其 CO、HC 排放量分别下降 98% 和 78.5%,以 75% C_3H_8 为燃料的发动机,其 CO、HC 排放量分别下降 98.3% 和 78.5%;排放物中几乎没有 SO_x ;当提高 C_4H_{10} 在 LPG 中的比例到 25% 时,发动机功率下降幅度减少,同时排放物继续下降。作为清洁燃料,LPG 在电喷发动机上的应用有着广阔的前景。

关键词 液化石油气 燃料 电喷 发动机 功率 转矩 排放标准 比较

多年来汽车发动机的研究表明,降低发动机的排放仅仅依靠发动机的结构改进、改善燃烧以及加强废气处理是远远不够的,减少汽车尾气污染的有效方法是采用清洁车用燃料^[1,2]。随着石油储量的逐步减少,人们也开始寻找未来汽车的替代燃料,从目前来看,作为清洁燃料之一的液化石油气(LPG)最有可能成为未来汽车的替代燃料。笔者在此分别以汽油和 LPG 作为燃料,在电喷发动机上进行了对比试验分析。

一、发动机的主要参数及 LPG 转换装置的选择

选择桑塔纳 2000GSi 轿车电子喷射式发动机(型号 AJR)压缩比 9.5,额定功率 74 kW (5200 r/min),配装荷兰 Necam 公司生产的第三代气体喷射液化石油气装置进行试验。功率测定用 D110B 水力测功机和 SZC 内燃机集中参数测试台,排放测定用 STARGAS-898 型气体分析仪。

二、LPG 与汽油燃烧性能的比较

LPG 的主要成分是丙烷(C_3H_8)和少量的丁烷(C_4H_{10})、烯烃,与汽油的化学成分完全不同。由于化学成分的不同,使它们的物理性质也有着很大的不同。

1. 热值的比较

LPG 的低热值为 45.77 MJ/kg,理论空燃比为 15.7 : 1,研究法辛烷值为 110;汽油的低热值为 43.85 MJ/kg^[4],理论空燃比 14.6 : 1,研究法辛烷值为 93,所以在使用 LPG 为燃料后,发动机在理论上提高压缩比的空间。

对汽油机混合气理论含有能量:

$$N_q = \frac{\rho}{L_i} M_i$$

对 LPG 发动机混合气理论含有能量:

$$N_y = \frac{1}{1 + \frac{L_i \rho}{\rho}} M_i \rho$$

LPG 发动机混合气理论含有能量占汽油机混合气理论含有能量之比为:

$$k = \frac{N_y}{N_q}$$

以上公式中: M_i 表示 LPG 的低热值为 45.77 MJ/kg^[5]; M_i 表示汽油的低热值为 43.85 MJ/kg; L_i 表示 LPG 的理论空燃比为 15.7 kg/kg^[5]; L_i 表示汽油的理论空燃比为 14.6 kg/kg; ρ 表示 LPG 的密度为 2.02 kg/m³^[5]; ρ 表示空气的密度为 1.29 kg/m³。

则 $k=0.9327$ 由此可见,LPG 混合气热值比汽

^{*} 本成果属于河北省教育厅科技研究项目(编号 04212111)。

作者简介:姚勇,1958年生;1982年毕业于河北工学院内燃机专业,现为河北师范大学职业技术学院机械系汽车教研室高级工程师,研究方向为内燃机工作过程与气体燃料。地址:(050031)河北省石家庄市东岗路99号。电话:(0311)6268893,13191872962。E-mail:yaodayong@eyou.com

油混合气热值低 6.7% 左右。

2. 汽化热和着火温度的比较

LPG 的汽化热为 426 MJ/kg, 着火温度为 466 °C; 汽油的汽化热为 310 MJ/kg, 着火温度为 390 °C。汽化热 LPG 比汽油高 37.4%^[5], 着火温度 LPG 比汽油高 176 °C。导致发动机使用 LPG 燃料后汽缸内的压缩终点附近的温度和压力比燃用汽油时降低。这也表明, LPG 发动机可以使用增压或提高压缩比来提高压缩终点附近的温度和压力。为改善发动机的着火性能, 需加大点火能量和点火提前角。

3. 火焰传播速度的比较

汽油混合气的火焰传播速度为 38~47 cm/s, LPG 混合气的火焰传播速度为 38 cm/s^[5], 所以同一发动机同负荷同转速时, LPG 混合气的燃烧持续角要大一些。加大点火提前角和组织气流运动有利于充分燃烧。

三、对比燃料的选择

汽油选用 90 号无铅汽油, 经过试验分析选用的汽油完全符合 GB 17930—1999 的规定(见表 1)。

表 1 试验用 90 号无铅汽油的性质表

项 目	GB17930—1999 ^[3]	分析结果
密度(g/cm ³)	实测	0.7311
10% 蒸发温度(°C)	≧70	54
50% 蒸发温度(°C)	≧120	102
90% 蒸发温度(°C)	≧190	150
终馏点(°C)	≧205	192
残留量(%)	≧2	1.2
蒸气压(kPa)	≧74(夏) ≧88(冬)	60.2
铜片腐蚀(级)	≤1	1
RON	≧90	93
(RON+MON)/2	≧85	90.15
胶质(mg/100 mL)	≧5	1.0
诱导期(min)	≧480	>1200
铅含量(mg/L)	≧5	<1
硫含量(%)	≧0.10	0.002
博士试验	通过	通过

LPG 是石油炼制过程中的副产品主要成分为丙烷, 所以它的性质与丙烷的含量有极大的关系。在选用对比燃料 LPG 时, 选用了两种丙烷不同含量的 LPG 进行对比试验, 以了解丙烷和丁烷含量对功率、排放的影响, 一种丙烷含量为 99%; 另一种为丙烷和丁烷的混合气, 丙烷含量为 75%。选用某厂生产的 LPG, 其质量完全符合 SY 7548—1998 的质量要求(见表 2)。

表 2 试验用车用 LPG 的性质表

项 目	SY7548—1998 ^[2]		分析结果	
	车用丙烷	车用丙丁烷	车用丙烷	车用丙丁烷
密度(kg/m ³ , 15 °C)	实测	实测	507	530
37.8 °C 蒸气压(kPa)	≤1430	≤1430	1156	920
丙烷(%) ≥60		99	75	
烯烃(%)	≧5	≧5	1	1
残留物(%)	≧0.05	≧0.05	0.03	0.03
铜片腐蚀(级)	≧1	≧1	≧1	≧1
总硫含量(ω×10 ⁻⁶)	≧123	≧140	42	13
游离水	无	无	无	无

四、试验结果及分析

1. 发动机功率的比较和分析(表 3, 图 1)

表 3 不同燃料的发动机功率和转矩表

转速(r/min)	汽油		C ₃ H ₈		75% C ₃ H ₈	
	功率(kW)	转矩(Nm)	功率(kW)	转矩(Nm)	功率(kW)	转矩(Nm)
1300	15.4	114.5	12.9	94.7	13.2	96.6
2100	29.1	133.5	24.2	110	25.2	114.9
2800	42.4	142.1	37.1	126.4	38.1	129.7
3200	48.4	142.2	44.5	132.8	44.9	134.2
3500	52.5	142.8	49.3	134.6	49.8	136.1
3800	57.7	146	53.75	135.1	56.2	140.6
4200	63.9	145.4	59.5	135.3	61.3	139.5
5000	70.6	132.7	63.2	120.7	66.9	127.7
5200	71	128.7	62.95	115.6	66.6	122.3

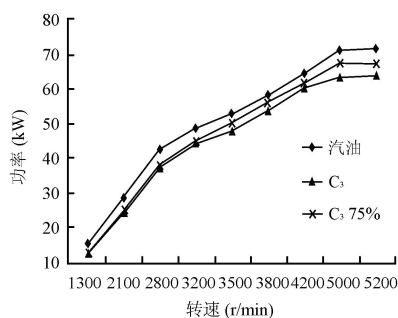


图 1 电喷发动机功率比较示意图

由图 1、表 3 可见, 与汽油燃料发动机相比, C₃H₈ 燃料发动机的功率下降 11%, 转矩下降 7.3%; 75% C₃H₈ 燃料发动机的功率下降 5.8%, 转矩下降 3.7%。与上述计算结果相差不大。这主要是因为 C₄H₁₀ 的热值为 46.39 MJ/kg^[6], 比 C₃H₈ 高 1.4。C₄H₁₀ 燃料发动机的功率下降的少一些。如果提高 C₄H₁₀ 在燃料中的比例有利于提高发动机的动力性。

2. 排放物的比较与分析(见表4,图2,图3)

表4 不同燃料的发动机排放的污染物表

转速 (r/min)	汽油		C ₃ H ₈		75% C ₃ H ₈	
	CO (%)	HC (mg/kg)	CO (%)	HC (mg/kg)	CO (%)	HC (mg/kg)
1300	3	120	0.02	30	0.02	30
2100	2.8	280	0.04	60	0.04	60
2800	3.8	200	0.04	60	0.04	55
3200	3.8	150	0.09	60	0.05	50
3500	3.9	130	0.05	50	0.06	40
3800	4	120	0.12	40	0.1	40
4200	5	100	0.1	40	0.06	30
5000	6	90	0.07	10	0.08	10
5200	4	60	0.07	10	0.08	5

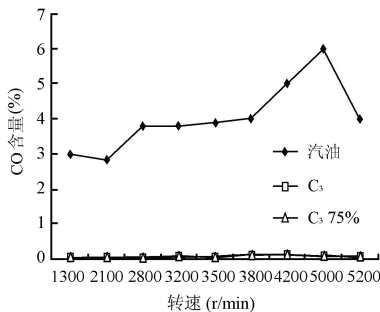


图2 电喷发动机 CO 排放示意图

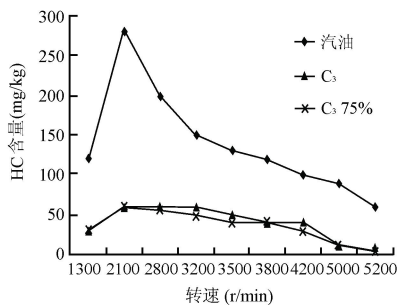


图3 电喷发动机 HC 排放示意图

LPG 发动机的燃烧比较完全,另外 LPG 燃料中杂质较少,尤其是硫的含量远低于汽油的硫含量,所以 LPG 发动机的排放中几乎没有 SO_x 的成分。LPG 的燃烧温度为 1970 °C,而汽油的燃烧温度为 2197 °C^[5],所以 NO_x 的排放量下降的幅度比较大,达到 40%~50%^[5]。

由表 4 可以看出:以汽油为燃料的发动机,其 CO 的最大排放量为 6% (5000 r/min),HC 的最大排放量为 280 mg/kg (2100 r/min);以 C₃H₈ 为燃料的发动机,其 CO 的最大排放量为 0.12% (3800 r/min),HC 的最大排放量为 60 mg/kg (2100~3200 r/min),分别下降 98% 和 78.5%;以 75% C₃H₈ 为

燃料的发动机,其 CO 的最大排放量为 0.1% (3800 r/min),HC 的最大排放量为 60 mg/kg (2100 r/min),分别下降 98.3% 和 78.5%。从图 2、图 3 中可以看出,CO 和 HC 总体下降很多,尤其是 CO 几乎达到了零排放。以 C₃H₈ 和 75% C₃H₈ 为燃料排放情况变化不大。

五、结 论

从表 3、4 可以看出以电子多点喷射汽油机用 LPG 为燃料代替汽油时,发动机的输出功率下降 10%,排放量下降 50%~90%。在 LPG 燃料中提高 C₄H₁₀ 的比例,可减少功率的下降幅度,排放量进一步下降,但下降幅度不大。我国车用 LPG 标准 SY 7548—1998 明确规定了车用 C₃H₈ 的含量,这样就限制了 C₄H₁₀ 的使用比例,不利于发动机动力性的发挥。应该适当修改 SY 7548—1998,才有助于 LPG 汽车的进一步发展。

由于 LPG 具有较高的辛烷值,所以当用 LPG 代替汽油为燃料时可提高发动机的压缩比来弥补功率的下降。对于目前的电子多点喷射汽油机完全可以进行改造,使用廉价而丰富的 LPG,同时适当加大点火能量和点火提前角,并组织一定的气流运动,这样就可以减少功率下降,进一步降低排放量,以大大改善大气环境,改善我国的能源构成,保障我国的能源安全^[7~10]。

参 考 文 献

- 姚勇等.针对新排放标准的燃油对策.交通标准化,2004;(02—03):48~51
- 上海市石油学会编.车用燃气与加气站建设.北京:中国石化出版社,2001
- 龙军等.我国车用汽油标准的发展历程与展望.石油炼制与化工,2003;38(7):45
- 黄乙武.液体燃料的性质和应用.北京:原经加工出版社,1985
- 孙济美.代用燃料汽车技术.汽车工艺与材料,2002;(11):1~4
- 黄海波主编.燃气汽车结构原理与维修.北京:机械工业出版社,2002
- 周恺承.LPG 汽车供燃系统产品的特点.天然气工业,1998;18(2):88~89
- 潘桦.LPG 汽车的市场前景及技术概述.天然气工业,1998;18(2):86~87
- 张铁,谢存禧.LPG/柴油双燃料发动机中 LPG 供气系统的研制.天然气工业,2001;21(6):80~83
- 章念南,李旭晖.车用 LPG 原料脱烯烃.天然气工业,1999;19(6):79~81

(修改回稿日期 2004-12-31 编辑 居维清)